

УДК 676.163.4

## **МОЛОДАЯ ДРЕВЕСИНА ЕЛИ И БЕРЕЗЫ – ПОЛНОЦЕННОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

© *Ф.Х. Хакимова\**, *Р.Р. Хакимов*, *О.А. Носкова*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Комсомольский пр., 29, Пермь, 614990 (Россия), e-mail: oa-noskova@mail.ru*

Работа посвящена повышению комплексности использования древесного сырья – одного из важнейших направлений решения современных требований рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Исследованы особенности пропитки бисульфитной варочной кислотой и закономерности бисульфитной делигнификации молодой и спелой древесины ели и березы. Показано, что молодая тонкомерная древесина обеих пород пропитывается бисульфитной варочной кислотой значительно быстрее, чем спелая. Характер процессов делигнификации для молодой и спелой древесины одинаковый, однако интенсивность процессов заметно ниже для молодой древесины.

Установлено, что целлюлоза из молодой древесины размалывается легче и имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой; однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной водоудерживающей способностью, что связано с различиями размеров и свойств волокон молодой и спелой древесины.

По выходу целлюлозы из молодой и спелой древесины различаются незначительно. Целлюлоза из молодой древесины березы отличается несколько пониженным выходом вследствие большей сучковатости этой древесины.

Молодая древесина делигнифицируется бисульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее по сравнению со спелой древесиной соответствующей породы.

Результаты исследований показали, что молодая (тонкомерная) древесина ели и березы, образующаяся при рубках ухода за лесом, является значительным резервом древесного сырья, которая может быть успешно утилизирована при производстве волокнистых полуфабрикатов, в частности, бисульфитной целлюлозы.

*Ключевые слова:* тонкомерная древесина, рубки ухода, ель, береза, молодая и спелая древесина, пропитка, бисульфитная варка, лигнин, пентозаны, делигнификация, выход целлюлозы, показатели качества, диаграмма Росса.

### **Введение**

В настоящее время целлюлозно-бумажная промышленность России испытывает определенные трудности в сырье в связи с ростом выпуска волокнистых полуфабрикатов. Особенно это ощутимо на предприятиях, расположенных на европейской части страны, где сосредоточено большинство мощностей, производящих техническую целлюлозу, бумагу и картон, а запасы леса составляют ~ 20% от общих лесных запасов страны. Перевозка древесины на значительные расстояния, как известно, экономически нецелесообразна, поэтому потребности целлюлозно-бумажной промышленности европейской части необходимо покрывать в будущем за счет собственных сырьевых ресурсов. Поэтому рациональное использование лесных ресурсов и расширение сырьевой базы целлюлозно-бумажного производства для получения волокнистых полуфабрикатов приобретает все большее значение [1, 2].

---

*Хакимова Фирдавес Харисовна* – доктор технических наук, профессор, тел.: (342)283-90-03, e-mail: oa-noskova@mail.ru

*Хакимов Роман Рашидович* – доцент химико-технологического факультета, кандидат технических наук, тел.: (342)283-90-03, e-mail: oa-noskova@mail.ru

*Носкова Ольга Алексеевна* – доцент химико-технологического факультета, кандидат технических наук, тел.: (342)283-90-03, e-mail: oa-noskova@mail.ru

При существующих способах переработки древесного сырья в целом по России используется около половины биомассы дерева [3].

Одним из современных требований рационального природопользования и охраны окружающей среды является комплексное использование древесного сырья, один из путей которого – активизация работы лесоперерабатывающих от-

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

раслей в направлении ресурсосбережения путем максимальной утилизации отходов лесозаготовки и переработки древесного сырья [2, 4, 5].

В настоящее время внимание к проблеме эффективного использования древесного сырья, а именно к вопросу использования древесных отходов, явно недостаточное. Да и нет законодательных актов, обязывающих уделять внимание этой проблеме [5].

Понятно, что замена первичного сырья (стволовой древесины) древесными отходами имеет и экономическое, и экологическое значение за счет предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде при неиспользуемых отходах. Необходимость полного и комплексного использования всей биомассы дерева очевидна [2, 5, 6].

Исследования в данной области ведутся не один десяток лет, однако проблема рационального использования древесного сырья и утилизации древесных отходов сохраняет свою актуальность [2, 5, 7].

Одним из резервов сырья для целлюлозно-бумажной промышленности может служить молодая тонкомерная древесина, получаемая при проведении рубок ухода за лесом (при осветлении, прочистке, прореживании, т.е. возраст 10–30 лет). Ресурсы такой древесины настолько велики, что они могут в значительной степени покрыть возрастающие потребности отрасли в сырье [8].

Значительный объем исследований и промышленных испытаний свидетельствует о возможности использования данной древесины в производстве волокнистых полуфабрикатов [8–11].

Заготовка тонкомерной древесины является довольно трудоемкой операцией. Работы по созданию и практическому применению комплексных высокомеханизированных установок ведутся во многих странах с развитой целлюлозно-бумажной промышленностью. Например, в связи с потреблением в США больших количеств тонкомерной древесины сосны (возраста 10–12 лет, диаметр ствола 10–18 см) рекомендован рациональный высокоэффективный способ лесозаготовки такой древесины [12, 13].

Основное внимание исследователей в последние годы было обращено на сульфатный способ делигнификации как наиболее универсальный, позволяющий использовать низкокачественное сырье. В работах [1, 8, 9, 11] исследованы сульфатные варки тонкомерной древесины сосны, березы, лиственницы. Установлено, что молодая древесина делигнифицируется сульфатным способом труднее, чем спелая. Выход технической целлюлозы из такой древесины ниже на 1–2%, а расход химикатов при варке повышенный.

Лабораторные испытания, а затем и опытно-промышленные выработки сульфатной целлюлозы из молодой древесины хвойных и лиственных пород подтвердили целесообразность использования такого сырья в качестве добавки к обычной балансовой древесине для получения технической целлюлозы [10, 11].

Однако в России до 30% целлюлозы вырабатывается сульфитным способом, поэтому представляет интерес изучение возможности использования древесины рубок ухода для получения сульфитной и бисульфитной целлюлозы, пригодной в бумажном производстве.

Наиболее часто применяемым сырьем для производства бисульфитной целлюлозы в нашей стране является древесина ели, пихты, осины, березы. При проведении рубок ухода за лесом – прореживании – получают также тонкомерную древесину указанных пород, большей частью березы. А так как лиственные породы древесины по свойствам, морфологии и химическому составу значительно отличаются от хвойных, то представляет интерес изучение основных закономерностей бисульфитной делигнификации молодой березовой древесины по сравнению со спелой березой в сопоставлении с еловой [14–16].

В литературе сведения по исследованию сульфитной и бисульфитной варки тонкомерной древесины от рубок ухода ограничены, хотя эти способы варки, по сравнению с сульфатной, имеют определенные преимущества. Поскольку целый ряд предприятий, выпускающих целлюлозно-бумажную продукцию, получают целлюлозу бисульфитным способом и испытывают недостаток древесного сырья, то проблемы бисульфитной делигнификации молодой тонкомерной древесины также представляются важными [1, 8].

В любом случае использование в производстве целлюлозы тонкомерной древесины экономически выгодно, особенно при решении проблемы комплексной механизированной заготовки, сбора, доставки, окорки и рубки этого сырья. В конечном счете это позволит сохранять от вырубki значительные лесные массивы [4, 7].

В силу особенностей морфологического строения, химического состава и физических свойств технология варки тонкомерной древесины отличается от технологии варки балансовой древесины.

### **Экспериментальная часть**

*Подготовка и анализ древесины.* Для исследований использовали древесину ели и березы, заготовленную при проведении рубок прореживания в Нижне-Курьинском лесничестве Пермской области. Заготовленные деревья отвечали термину «тонкомерная древесина», так как их диаметр на пне составлял 6–12 см. Средний возраст отобранной древесины 20–30 лет, т.е. это была молодая древесина. Поэтому в данной работе понятия «тонкомерная древесина» и «молодая древесина» являются идентичными. Одновременно заготовили и балансовую древесину (возраст древесины 70–85 лет) соответствующих пород.

Плотность образцов древесины определили по ГОСТ 16483.1.

Щепу из окоренной вручную древесины готовили на лабораторной рубительной машине. По содержанию основной фракции щепы соответствовала ГОСТ 15815 «Щепа технологическая. Технические условия» для выработки сульфитной целлюлозы.

Для определения химического состава исследуемых пород древесины щепу измельчили на лабораторной мельнице МРЛ-1 до размера опилок. Массовые доли целлюлозы (по Кюршнеру), лигнина (по Комарову), пентозанов, веществ, экстрагируемых спирто-бензольной смесью и горячей водой, определили, руководствуясь пособием [17].

*Проведение варки целлюлозы.* В настоящее время на большинстве сульфитцеллюлозных заводов используют варочную кислоту, по составу близкую к варочному раствору для бисульфитной варки целлюлозы. Однако варочный раствор не является чисто бисульфитным, в нем всегда есть некоторое количество растворенного  $\text{SO}_2$ . Исходя из этого и проанализировав состав варочного раствора некоторых сульфитцеллюлозных заводов, для исследований использовали варочную кислоту на натриево-магниевом основании следующего состава: 3.8–4.0% всего  $\text{SO}_2$ , 1.75–1.80% связанного  $\text{SO}_2$ , pH = 2.5–2.6.

Бисульфитные варки проводили в стационарном автоклаве вместимостью 2 л с электрообогревом без принудительной циркуляции. Гидромодуль составил – 5 : 1. Полученную целлюлозу распускали на волокна в дезинтеграторе, промывали струей водопроводной воды и сортировали.

*Методы анализа целлюлозы.* В работе использовали следующие стандартные методы анализа целлюлозы: определение массовой доли влаги – ГОСТ 16932; степени провара (перманганатным методом) – ГОСТ 9109; массовой доли лигнина в целлюлозе – ГОСТ 11960; экстрактивных веществ (смола и жиры) – ГОСТ 6841; пентозанов – ГОСТ 10820; белизны – ГОСТ 7690.

Определение показателей механической прочности целлюлозы: сопротивления разрыву – по ГОСТ 1924-1-96; прочности на излом при многократных перегибах – по ГОСТ 13525.2; сопротивления продавливанию – по ГОСТ 13525.8.

Показатели механической прочности отливок целлюлозы определяли после размола в мельнице ЦРА до степени помола 60 °ШР. Степень помола массы определяли на аппарате СР-2. Образцы бумаги с массой 75 г/м<sup>2</sup> получали на листоотливном аппарате ЛА-2 с вакуум-сушильной камерой.

Подготовку образцов к испытаниям (кондиционирование) проводили согласно ГОСТ 13523.

Водоудержание целлюлозы определяли по усовершенствованному методу Джайме [18, 19].

### **Обсуждение результатов**

Объектом исследования являлась молодая тонкомерная древесина, поэтому понятия «молодая» и «тонкомерная» древесина в нашем случае идентичны.

Были изучены особенности пропитки бисульфитной варочной кислотой и закономерности бисульфитной делигнификации молодой и спелой древесины ели и березы.

Характеристика физических свойств и химического состава использованной еловой и березовой древесины приведена в таблице 1.

Древесина тонкомерной молодой древесины обеих пород отличается от спелой меньшим содержанием целлюлозы по Кюршнеру, смола и жиры, но повышенным содержанием лигнина, пентозанов и веществ, экстрагируемых горячей водой, а также пониженной плотностью.

Молодая тонкомерная древесина как хвойных, так и лиственных пород имеет более короткие и узкие волокна и меньшую толщину клеточной оболочки по сравнению с волокнами спелой древесины [14].

Внимание вопросу пропитки сравниваемых образцов древесины было уделено нами потому, что она является первой стадией в комплексе превращений, составляющем процесс делигнификации, и от ее успешного проведения в конечном итоге зависит результат варки.

Таблица 1. Физические свойства и химический состав еловой и березовой древесины (спелой и молодой)

Показатели	Древесина еловая		Древесина березовая	
	молодая	спелая	молодая	спелая
Диаметр на пне, см: с корой	5.9	24.8	6.8	27.6
без коры	5.6	22.5	6.5	26.0
Средневзвешенная плотность, кг/м <sup>3</sup>	377	397	540	560
Массовая доля, % от исходной древесины:				
целлюлозы (по Кюршнеру)	52.3	54.7	46.0	48.0
лигнина (по Комарову)	29.4	28.2	23.5	22.9
пентозанов	10.2	8.3	26.6	25.8
веществ, экстрагируемых горячей водой (90 °С)	3.1	2.3	2.6	2.4
смола и жиров	1.9	2.3	2.3	2.5
полисахаридов:				
легкогидролизуемых	16.9	16.0	25.5	26.1
трудногидролизуемых	40.5	42.0	50.7	51.8

Результаты анализа процесса пропитки еловой и березовой древесины различного возраста показали, что молодая тонкомерная древесины обеих пород пропитывается бисульфитной варочной кислотой значительно быстрее, чем спелая – более интенсивное поглощение варочной кислоты щепой из молодой древесины объясняется несколько меньшей ее плотностью и, вероятно, особенностями строения молодой древесины [15].

Процесс пропитки тонкомерной древесины ели по сравнению со спелой характеризуется переходом в раствор меньшего количества лигнина, однако выход древесного остатка этих образцов ниже, что, вероятно, объясняется переходом в раствор на данном этапе водорастворимых веществ и гидролизом пентозанов, повышенная доля которых характерна для тонкомерной древесины.

Вообще период заварки при сульфитной варке (совпадающий с периодом пропитки) характеризуется переходом в раствор небольшого количества органических веществ древесины, но быстрым расходом диоксида серы, что связано с образованием твердой лигносульфоновой кислоты и ее солей. Некоторая доля сульфированного лигнина в этот период переходит в раствор.

Наиболее интенсивный переход в раствор сульфированного лигнина и гидролиз углеводной части, вызывающий резкое снижение выхода древесного остатка, происходит во второй период процесса делигнификации, т.е. на стадии собственно варки.

Данные об изменениях состава древесного остатка в ходе бисульфитной делигнификации еловой древесины представлены на рисунках 1 и 2.

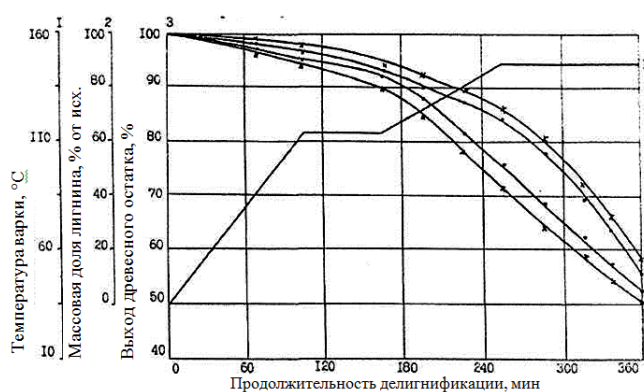


Рис. 1. Изменение массовой доли лигнина в древесном остатке (2) и выхода древесного остатка (3) в процессе бисульфитной делигнификации еловой древесины (1 – график варки): × – молодая древесина; • – спелая древесина

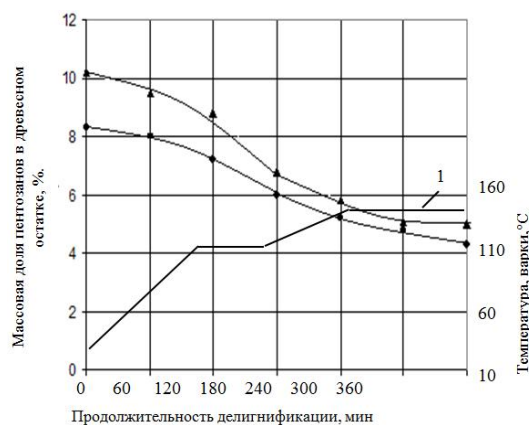


Рис. 2. Изменение содержания пентозанов в древесном остатке в процессе бисульфитной делигнификации еловой древесины: 1 – график варки; ▲ – тонкомерная (молодая) древесина; ◆ – спелая древесина

Бисульфитная делигнификация еловой древесины осуществлена согласно следующего графика: подъем температуры до 115 °С – 1 ч 45 мин, пропитка при температуре 115 °С – 1 ч, подъем температуры до 150 °С – 1 ч 30 мин, варка при конечной температуре 150 °С – 1 ч 45 мин.

Анализ растворения лигнина и изменения выхода древесного остатка при делигнификации показывает, что второй период процесса (подъем температуры до конечной и варка при конечной температуре) характеризуется интенсивным растворением лигнина и существенным снижением выхода древесного остатка. Характер изменения содержания лигнина в древесном остатке в ходе бисульфитной делигнификации для образцов молодой и спелой древесины примерно одинаковый, но по абсолютной величине массовая доля лигнина для тонкомерной ели на протяжении варки остается несколько выше, чем для спелой. Выход древесного остатка в течение всего процесса ниже для образца из тонкомерной ели, несмотря на относительно более медленную делигнификацию тонкомерной древесины, и, соответственно, более высокую массовую долю лигнина в древесном остатке.

При одинаковой степени делигнификации сравниваемых образцов выход целлюлозы из тонкомерной ели меньше на 2–4% по сравнению со спелой. Эта разница в значениях выхода целлюлозы из молодой и спелой древесины определяется, очевидно, более высоким содержанием в молодой древесине водорастворимых веществ, пониженным содержанием целлюлозы и более интенсивным растворением пентозанов молодой древесины в процессе делигнификации (рис. 2).

Ход процесса делигнификации представлен на диаграмме Росса, которая наглядно отражает процесс удаления из древесины лигнина и растворения углеводов. Анализ диаграммы показывает, что характер этих процессов для древесины молодой и спелой ели практически одинаковый (рис. 3). При сравнении полученных кривых делигнификации древесины ели разного возраста подтверждается более низкая интенсивность делигнификации молодой еловой древесины.

Для сравнительного изучения бисульфитной делигнификации молодой и спелой березы был использован практически тот же график варки, что и для древесины ели, однако поскольку обычно лиственная древесина делигнифицируется легче хвойной, была принята более низкая конечная температура варки (145 °С) и сокращена продолжительность варки при конечной температуре (1 ч 30 мин.).

Как было отмечено выше, в начальной стадии варки древесина молодой тонкомерной березы пропитывается бисульфитной варочной кислотой быстрее, чем спелая.

К концу периода пропитки древесины березы в раствор переходит 20–30% лигнина от исходного его количества в древесине, что значит больше, чем для древесины ели. Растворение такого количества лигнина березы в период пропитки объясняется, вероятно, тем, что лигнин лиственной древесины в основном располагается в срединной пластине и для его растворения требуется меньшая степень сульфирования.

Во второй период делигнификации (собственно варки) наблюдается интенсивный переход в раствор нецеллюлозных компонентов клеточных оболочек древесины, в том числе и лигнина (рис. 4 и 5).

Во время всего процесса делигнификации содержание остаточного лигнина (в процентах от исходного) выше в образцах из тонкомерной березы, т.е. растворение лигнина из этой древесины происходит медленнее, чем из спелой.

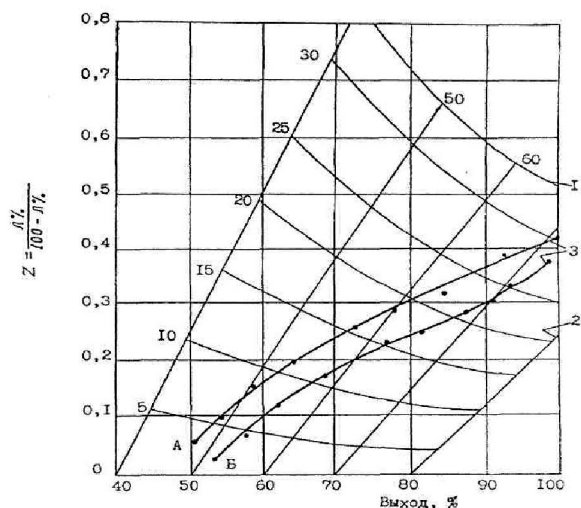


Рис. 3. Диаграмма Росса для бисульфитной делигнификации молодой и спелой древесины ели:

- 1 – линии постоянного содержания лигнина;
- 2 – линии постоянного содержания углеводов;
- 3 – кривые бисульфитной делигнификации;
- А – молодая древесина; Б – спелая древесина

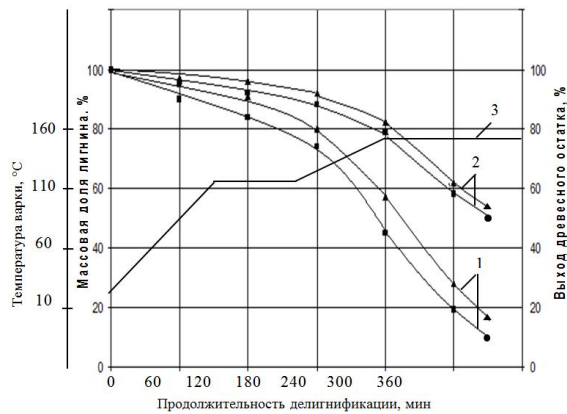


Рис. 4. Изменение содержания лигнина в древесном остатке (1) и выхода древесного остатка (2) березовой древесины в процессе бисульфитной делигнификации (3 – график варки): ▲ – тонкомерная (молодая) древесина; ● – спелая древесина

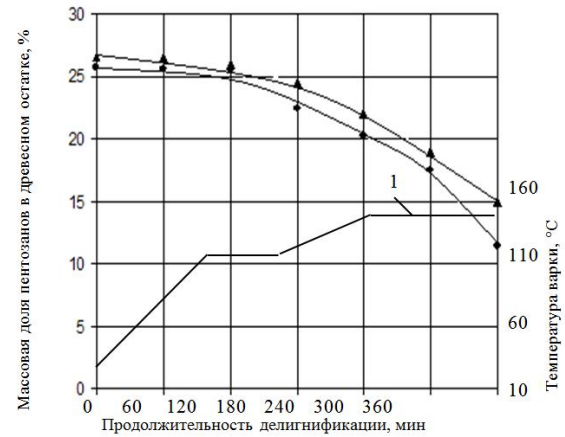


Рис. 5. Изменение содержания пентозанов в древесном остатке в процессе бисульфитной делигнификации березовой древесины: 1 – график варки; ▲ – тонкомерная (молодая) древесина; ● – спелая древесина

В ходе делигнификации характер изменения выхода для обоих образцов одинаковый. Однако к концу процесса делигнификации при одинаковой его продолжительности выход целлюлозы из молодой березы выше, чем из спелой, но целлюлоза из молодой березы отличается более высоким содержанием лигнина. При варке до одинаковой степени делигнификации выход целлюлозы из молодой березы на 1-3% ниже, чем из спелой.

Кривые растворения пентозанов при бисульфитной делигнификации молодой и спелой березы имеют одинаковый характер (рис. 5).

Ход процесса бисульфитной делигнификации можно отразить на диаграмме Росса (рис. 6), которая наглядно отражает процесс удаления из древесины лигнина и растворения углеводов.

В начальной стадии варки наблюдается интенсивное растворение лигнина при незначительном растворении углеводной части древесины. В дальнейшем процесс варки сопровождается гидролизом и лигнина и углеводов: выход лигнина снижается от 17 до 2%, а общий выход углеводов уменьшается от 75 до 52%. Однако гидролиз углеводов протекает менее интенсивно и процесс делигнификации протекает весьма избирательно.

Для оптимизации режимов варки еловой и березовой древесины были поставлены эксперименты по плану Бокса ( $m=3$ ). Переменные факторы и интервалы их варьирования:

- конечная температура варки  $X_1$ , °C: для еловой древесины 140–155; для березовой древесины 140–150;
- продолжительность подъема температуры до конечной  $X_2$ , мин, соответственно 90–120; 80–110;

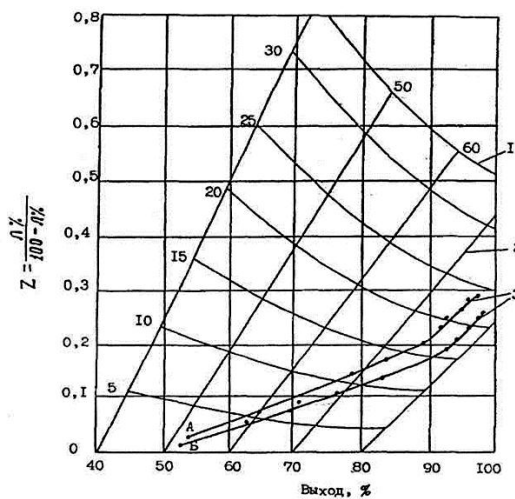


Рис. 6. Диаграмма Росса для бисульфитной делигнификации молодой и спелой древесины березы: 1 – линии лигнина; 2 – линии углеводов; 3 – кривые бисульфитной делигнификации; А – молодая древесина; Б – спелая древесина

– продолжительность варки при конечной температуре  $X_3$ , мин, соответственно 60–100; 5–90.

Для анализа полученных результатов и для расчета оптимальных режимов варки целлюлозы использовался программный пакет статистического анализа данных Statgraphics Plus Version 5.0. [20].

Условия оптимизации (в пределах варьирования переменных факторов):

– для еловой целлюлозы – степень провара  $\leq 110$  п. ед., разрывная длина, м  $\rightarrow \max$ ;

– для березовой целлюлозы – степень провара  $\leq 100$  п. ед., разрывная длина, м  $\rightarrow \max$ .

В результате оптимизации получены следующие условия варки тонкомерной древесины:

– еловой  $X_1 = 147$  °С,  $X_2 = 100$  мин,  $X_3 = 90$  мин;

– березовой  $X_1 = 142$  °С,  $X_2 = 90$  мин,  $X_3 = 80$  мин.

Обычно лиственная древесина делигнифицируется легче хвойной. Оптимальные условия варки березовой молодой тонкомерной древесины, соответственно, также получились более мягкие, чем для варки еловой древесины.

По полученным в результате оптимизации режимам были проведены сравнительные варки тонкомерной и спелой ели и березы. Результаты этих варок представлены в таблице 2.

Из тонкомерных образцов древесины получена целлюлоза с показателями, в основном соответствующими расчетным.

Результаты сравнительных варок молодой и спелой древесины ели и березы показали, что молодая древесина, независимо от породы, делигнифицируется медленнее, чем спелая, что подтверждает приведенные ранее данные. Целлюлоза из молодой древесины отличается более высоким содержанием в ней лигнина и пентозанов. Соответственно, выход целлюлозы из еловой древесины выше для молодой. Молодая березовая древесина отличается высокой сучковатостью, что отразилось на выходе целлюлозы.

Целлюлоза из молодой древесины отличается более легкой размалываемостью, более высокими показателями механической прочности по сравнению с целлюлозой из спелой древесины. Однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной водоудерживающей способностью, что связано с различиями размеров и свойств волокон молодой и спелой древесины. Целлюлоза из молодой древесины отличается также повышенной белизной, однако для целлюлозы из березовой древесины это различие оказалось существенным, так как была использована древесина спелая более длительного хранения, чем молодая.

Таблица 2. Результаты сравнительных варок тонкомерной и спелой ели и березы по оптимальным режимам

Показатели целлюлозы	из еловой древесины		из березовой древесины	
	тонкомерной	спелой	тонкомерной	спелой
Степень провара, п.е.	110	100	96	91
Выход, % от исходной древесины	53,5	52,2	53,8	54,9
Массовая доля, %:				
лигнина	4,0	3,4	3,7	3,2
пентозанов	5,8	5,2	14,2	12,6
смола и жиров	1,5	1,3	2,2	2,6
Механическая прочность отливок (75 г/м <sup>2</sup> , 60°ШР):				
разрывная длина, м	8820	8600	7860	7500
сопротивление продавливанию, кПа	480	460	420	370
сопротивление излому, ч.д.п.	2290	2470	1020	1250
Белизна, % белого	67,0	65,0	64,0	54,0
Обезвоживаемость, с	17	14	18	16
Водоудержание, % (25°ШР)	200	160	280	250
Продолжительность размола до 60°ШР, мин	52	57	35	45

### Выводы

Результаты исследований показали, что молодая (тонкомерная) древесина ели и березы, образующаяся при рубках ухода за лесом, является значительным резервом древесного сырья, которая может быть успешно утилизирована при производстве волокнистых полуфабрикатов, в частности, бисульфитной целлюлозы.

Молодая древесина делигнифицируется бисульфитным варочным раствором без затруднений, но несколько медленнее по сравнению с соответствующей породой спелой древесины.

Установлено, что целлюлоза из молодой древесины размалывается легче и имеет более высокие показатели механической прочности, чем из спелой; однако целлюлоза из молодой древесины обезвоживается несколько труднее и обладает повышенной водоудерживающей способностью, что связано с различиями размеров и свойств волокон молодой и спелой древесины.

По выходу целлюлозы из молодой и спелой древесины различаются несущественно. Целлюлоза из молодой древесины березы отличается несколько пониженным выходом вследствие большей сучковатости этой древесины.

### *Список литературы*

1. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск, 2007. 500 с.
2. Пен Р.З., Рязанова Т.В. Комплексная химическая переработка древесины. Красноярск, 2012. 158 с.
3. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // Химия растительного сырья. 2010. №2. С. 5–16.
4. Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Третьяков С.И., Богданович Н.И., Соколов О.М., Кутакова Н.А., Селянина Л.И., Дьякова Е.В. Комплексная химическая переработка древесины. Архангельск, 2006. 374 с.
5. Андреева А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования проблемы и результаты. 2014. №10. С. 148–155.
6. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // Лесной вестник. 2002. №4. С. 71–73.
7. Сафин Р.Г., Саттарова З.Г., Сафина А.В., Степанова Т.О., Крайнов А.А. Современные направления переработки лесных ресурсов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, №21. С. 90–93.
8. Гелес И.С., Коржицкая З.А. Биомасса дерева и ее использование. Петрозаводск, 1992. 230 с.
9. Неленин Ю.Н., Жалина В.А. Тонкомерная древесина как сырье для целлюлозно-бумажной промышленности // Древесное сырье и возможности его комплексного использования. Петрозаводск, 1983. С. 101–108.
10. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И., Голубева Л.В. Влияние добавок тонкомерной древесины на свойства сульфатной целлюлозы // Химия и технология целлюлозы: межвузовский сборник научных трудов. Л., 1980. С. 20–26.
11. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Агеева М.И. Использование тонкомерной древесины от рубок прореживания в производстве сульфатной целлюлозы // Химия и технология целлюлозы и лигнина: межвузовский сборник научных трудов. Л., 1982. С. 29–33.
12. Holekamp James A. The efficient harvest, transport and millard process of smallwood pine // AIChE Symp Ser. 1980. Vol. 76, N195. Pp. 12–19.
13. McCormack R. A mechanized harvesting system for Pinus radiata thinnings // Appita. 1979. Vol. 32, N4. Pp. 291–294.
14. Гелес И.С., Коржицкая З.А., Васильева Н.А. и др. К вопросу использования тонкомерной древесины от рубок прореживания в производстве сульфитной целлюлозы // Древесное сырье и возможности его комплексного использования. Петрозаводск, 1983. С. 4–38.
15. Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Бисульфитная делигнификация молодой древесины березы // Химия растительного сырья. 2008. №4. С. 23–28.
16. Хакимова Ф.Х. Отбелка бисульфитной целлюлозы из древесины спелой и молодой тонкомерной ели и березы // Химия растительного сырья. 2006. №2. С. 11–18.
17. Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Практикум по химии древесины и синтетических полимеров: учеб. пособие. М., 2006. 249 с.
18. Дулькин Д.А., Блинова Л.А., Блинушова О.И. Изменение надмолекулярной структуры волокнистых полуфабрикатов из древесины в процессе размола // Химия растительного сырья. 2007. №1. С. 75–83.
19. Дулькин Д.А., Миронова В.Г., Южанинова Л.А. Исследование водоудерживающей способности волокнистой массы по методу G. Jaume // Теория и технология бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: научные труды 5-й Международной научно-технической конференции. Правда-Караваево. 2004. С. 27–31.
20. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск, 2003. 246 с.

*Поступило в редакцию 28 февраля 2018 г.*

*После переработки 21 марта 2018 г.*

**Для цитирования:** Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Молодая древесина ели и березы – полноценное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 261–270. DOI: 10.14258/jcprm.2018033782.



*Khakimova F.H.\**, *Khakimov R.R.*, *Noskova O.A.* YOUNG WOOD OF SPRUCE AND BIRCH – COMPLETE RAW MATERIAL FOR PULP AND PAPER INDUSTRY

*Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky av., 29, Perm, 614990 (Russia),*

*e-mail: oa-noskova@mail.ru*

The work is devoted to increase in complexity of use of wood raw materials – one of the most important directions in solution to complying with the modern requirements of rational environmental management and environmental protection.

Features of impregnation by bisulfite sulfite cooking acid and regularities of bisulfite delignification of young and ripe fir-tree and birch wood have been investigated. It is shown that young thin wood of both breeds becomes impregnated by bisulfite sulfite cooking acid much quicker, than ripe. The nature of delignification processes for young and ripe wood are identical, however intensity of processes is much lower for young wood.

It has been established that cellulose derived from young wood is ground easier and has higher mechanical strength rates than from ripe. However cellulose from young wood is dehydrated slightly more difficultly and has the increased water-retaining what is connected with differences in sizes and properties of fibers of young and ripe wood.

Cellulose yields of young and ripe wood differ insignificantly. Cellulose from young birch wood characterized by a somehow lowered owing due to the higher content of knots of this wood.

Young wood is dignified by bisulfite cooking liquor without difficulties, but slightly more slowly in comparison with the corresponding ripe wood breed.

The research results showed that the young (thin) fir-tree and birch wood of which is formed at cleaning cutting is the considerable reserve stock of wood raw materials which can be successfully utilized fibrous semi-finished products production, in particular in bisulfite cellulose.

*Keywords:* thin-wood, thinning, spruce, birch, young and ripe wood, impregnation, bisulphite cooking, lignin, pentosans, delignification, pulp yield, quality levels, Ross diagram.

## References

1. Geles I.S. *Drevesnoye syr'ye – strategicheskaya osnova i rezerv tsivilizatsii*. [Wood raw materials are the strategic basis and reserve of civilization]. Petrozavodsk, 2007, 500 p. (in Russ.).
2. Pen R.Z., Ryazanova T.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny*. [Complex chemical processing of wood]. Krasnoyarsk, 2012, 158 p. (in Russ.).
3. Belovezhets L.A., Volchatova I.V., Medvedeva S.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 2, pp. 5–16. (in Russ.).
4. Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Tret'yakov S.I., Bogdanovich N.I., Sokolov O.M., Kutakova N.A., Selyanina L.I., D'yakova Ye.V. *Kompleksnaya khimicheskaya pererabotka drevesiny*. [Complex chemical processing of wood]. Arkhangelsk, 2006, 374 p. (in Russ.).
5. Andreyeva A.A. *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya problemy i rezul'taty*, 2014, no. 10, pp. 148–155. (in Russ.).
6. Vasil'yeva T.V. *Lesnoy vestnik*, 2002, no. 4, pp. 71–73. (in Russ.).
7. Safin R.G., Sattarova Z.G., Safina A.V., Stepanova T.O., Kraynov A.A. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015, vol. 18, no. 21, pp. 90–93. (in Russ.).
8. Geles I.S., Korzhitskaya Z.A. *Biomassa dereva i yeye ispol'zovaniye*. [Biomass of a tree and its use]. Petrozavodsk, 1992, 230 p. (in Russ.).
9. Nepenin Yu.N., Zhalina V.A. *Drevesnoye syr'ye i vozmozhnosti yego kompleksnogo ispol'zovaniya*. [Wood raw materials and the possibilities of its integrated use]. Petrozavodsk, 1983. C. 101–108. (in Russ.).
10. Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I., Golubeva L.V. *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. [Chemistry and technology of cellulose: interuniversity collection of scientific papers]. Leningrad, 1980, pp. 20–26. (in Russ.).
11. Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Ageyeva M.I., Golubeva L.V. *Khimiya i tekhnologiya tsellyulozy: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*. [Chemistry and technology of cellulose: interuniversity collection of scientific papers]. Leningrad, 1982, pp. 29–33. (in Russ.).
12. Holekamp James A. *AIChE Symp Ser.*, 1980, vol. 76, no. 195, pp. 12–19.
13. McCormack R. *Appita*, 1979, vol. 32, no. 4, pp. 291–294.
14. Geles I.S., Korzhitskaya Z.A., Vasil'yeva N.A. et al. *Drevesnoye syr'ye i vozmozhnosti yego kompleksnogo ispol'zovaniya*. [Wood raw materials and the possibilities of its integrated use]. Petrozavodsk, 1983, pp. 4–38. (in Russ.).
15. Khakimova F.KH., Kovtun T.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 4, pp. 23–28. (in Russ.).
16. Khakimova F.KH. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 2, pp. 11–18. (in Russ.).
17. Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov*. [Workshop on the chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow, 2006, 249 p. (in Russ.).
18. Dul'kin D.A., Blinova L.A., Blinushova O.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2007, no. 1, pp. 75–83. (in Russ.).

\* Corresponding author.

19. Dul'kin D.A., Mironova V.G., Yuzhaninova L.A. *Teoriya i tekhnologiya bumazhno-kartonnoy produktii iz vtorichnogo voloknistogo syr'ya: nauchnyye trudy 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. [Theory and technology of paper and board products from secondary fibrous raw materials: scientific works of the 5th International Scientific and Technical Conference]. Pravda-Karavayevo, 2004, pp. 27–31. (in Russ.).
20. Pen R.Z. *Planirovaniye eksperimenta v Statgraphics*. [Planning an experiment in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003, 246 p. (in Russ.).

*Received February 28, 2018*

*Revised March 21, 2018*

**For citing:** Khakimova F.H., Khakimov R.R., Noskova O.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 261–270. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018033782.